

Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik dengan *Total Dissolved Solid* (TDS) dan Temperatur pada Beberapa Jenis Air

Fadhilah Irwan*, Afdal

Jurusan Fisika Universitas Andalas

**dhila.irwan@gmail.com*

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk menentukan hubungan konduktivitas listrik dengan *Total Dissolved Solid* (TDS) dan temperatur pada tiga jenis air yaitu air laut, sungai dan danau. Sampel air laut diambil di Pantai Padang, air sungai di Sungai Batang Arau dan air danau di Danau Diatas Alahan Panjang. Pada masing-masing lokasi, sampel diambil pada enam titik dengan jarak antar titik 500 m. Sampel air laut diambil pada tiga titik dekat objek wisata dan tiga titik dekat hutan tepi pantai. Sampel air sungai diambil masing-masing pada dua titik bagian hulu, tengah dan hilir sungai. Sampel air danau diambil mulai dari pusat lahan perikanan di tepi danau menuju tengah danau. Nilai TDS ditentukan dengan metode *gravimetry* dan konduktivitas listrik diukur dengan *conductivity meter*. Rata-rata nilai TDS pada air laut sebesar 23886,7 mg/l, air sungai sebesar 1873,3 mg/l dan air danau sebesar 546,7 mg/l. Rata-rata nilai konduktivitas listrik untuk air laut sebesar 177,9 $\mu\text{S/cm}$, air sungai sebesar 139,1 $\mu\text{S/cm}$ dan air danau 80,6 $\mu\text{S/cm}$. Hubungan TDS dengan konduktivitas listrik pada air laut tidak dapat dilihat karena nilai TDS sangat berosilasi dengan perubahan konduktivitas listrik. Hubungan TDS dengan konduktivitas listrik air sungai linier pada konduktivitas listrik yang kecil dan mulai tidak linier pada nilai konduktivitas listrik tinggi. Model terbaik hubungan antara TDS dan konduktivitas listrik pada air sungai dan air danau adalah model polinomial orde-2 dengan koefisien korelasi 0,9506 untuk air sungai dan 0,9896 untuk air danau.

Kata kunci: *gravimetry*, konduktivitas listrik, temperatur, *Total Dissolved Solid* (TDS)

ABSTRACT

A research to determine relationship between the electrical conductivity and total dissolved solid (TDS) and temperature in three types of water those are sea, river and lake water has been conducted. Sea water samples were taken on Padang beach, river water samples were taken on Batang Arau river and lake water samples on Diatas lake Alahan Panjang. At each location, water samples were taken at six points at every 500 m distance. Sea water samples taken at three points near the tourist attractions and at three points near the seaside. River water samples were taken at two points at upstream, midstream and downstream of the river respectively. Lake water samples taken from the lake sides towards the middle of the lake. TDS value was determined by using gravimetry method and electrical conductivity values measured by conductivity meter. The average value of TDS of sea water is 23886.7 mg/l, the river water is 1873.3 mg/l and the lake water is 546.7 mg/l. The average value of the electrical conductivity of sea water is 177.9 $\mu\text{S/cm}$, the river water is 139.1 $\mu\text{S/cm}$ and the lake water is 80.6 $\mu\text{S/cm}$. TDS relationship with the electrical conductivity of the sea water can not be determined because of TDS values are oscillated with electrical conductivity. TDS relationship with the electrical conductivity is linear at small electrical conductivity value and it is not linear at high electrical conductivity value. The best model of the relationship between TDS and the electrical conductivity in river water and lake water are the second degree polynomial models with correlation coefficient 0.9506 for river water and 0.9896 for lake water.

Keywords: electrical conductivity, gravimetry, temperature, *Total Dissolved Solid* (TDS)

I. PENDAHULUAN

Air digunakan untuk berbagai aktivitas sehari-hari tidak hanya untuk minum saja, tetapi digunakan untuk mandi, mencuci, keperluan pertanian, keperluan industri, pembangkit listrik dan lainnya. Kualitas air menjadi persoalan yang berhubungan dengan kesehatan masyarakat. Apabila terjadi pencemaran akan menimbulkan masalah yang berbahaya bagi kesehatan. Air dapat mengalami pencemaran secara langsung dan tidak langsung baik dari kotoran, pestisida, pupuk, limbah pertanian, limbah rumah tangga dan limbah industri. Selain itu, pencemaran juga dapat terjadi akibat meningkatnya aktivitas manusia seperti kegiatan industri, penebangan hutan, dan aktivitas penduduk. Pencemaran tersebut menyebabkan penurunan kualitas air yang berupa perubahan fisik, kimia dan biologis air (Paul dan Sen, 2012).

Beberapa parameter yang digunakan untuk penentuan kualitas air (tingkat pencemaran) antara lain suhu, warna, kekeruhan, konduktivitas listrik (*Electrical Conductivity*, EC), pH,

alkalinitas, asiditas, kesadahan, nitrogen, klorida, kebutuhan oksigen biologi (*Biological Oxygen Demand*, BOD), kebutuhan oksigen kimia (*Chemical Oxygen Demand*, COD) dan kandungan bahan-bahan di dalamnya. Bahan-bahan di dalam air dapat berupa bahan organik, bahan anorganik, logam dan non logam yang dapat berwujud padatan maupun cairan. Zat padat di dalam air secara umum dapat dibedakan menjadi dua yaitu padatan terlarut dan padatan tersuspensi (Herlambang, 2006).

Pengukuran zat padat terlarut dapat dilakukan dengan metode *gravimetry* dan konduktivitas listrik. Metode *gravimetry* merupakan metode langsung dalam pengukuran jumlah zat padat terlarut yang biasanya dinyatakan dalam besaran *total dissolved solid* (TDS). TDS merupakan jumlah padatan yang berasal dari material-material terlarut yang dapat melewati filter yang lebih kecil daripada $2\ \mu\text{m}$ (Djuhariningrum, 2005). Metode *gravimetry* merupakan metode standar yang memiliki tingkat keakuratan yang tinggi, namun metode ini harus dilakukan di laboratorium dan pengukurannya membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif untuk pengukuran TDS tersebut. Metode lain yang dapat digunakan untuk pengukuran nilai TDS melalui pengukuran konduktivitas listrik (Herlambang, 2006).

Konduktivitas listrik adalah ukuran kemampuan suatu larutan untuk menghantarkan arus listrik. Arus listrik di dalam larutan dihantarkan oleh ion yang terkandung di dalamnya. Ion memiliki karakteristik tersendiri dalam menghantarkan arus listrik. Maka dari itu nilai konduktivitas listrik hanya menunjukkan konsentrasi ion total dalam larutan (Manalu, 2014). Banyaknya ion di dalam larutan juga dipengaruhi oleh padatan terlarut di dalamnya. Semakin besar jumlah padatan terlarut di dalam larutan maka kemungkinan jumlah ion dalam larutan juga akan semakin besar, sehingga nilai konduktivitas listrik juga akan semakin besar. Jadi, di sini dapat dilihat bahwa terdapat hubungan antara jumlah zat padat terlarut yang dinyatakan dengan TDS dengan nilai konduktivitas listrik.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Das, dkk (2005) di Danau Subhas Sarovar dan Rabindra Sarovar, Kolkata, India diketahui bahwa nilai konduktivitas listrik memiliki hubungan yang linier dengan TDS. Dari penelitian tersebut teramati bahwa nilai konduktivitas listrik meningkat seiring dengan meningkatnya nilai TDS yang menunjukkan peningkatan konsentrasi sulfat dan ion lainnya. Pada penelitiannya diketahui bahwa pengukuran konduktivitas listrik jauh lebih mudah daripada pengukuran TDS langsung. Chang (1983) dalam Hayashi (2003) juga melakukan penelitian yang melihat hubungan antara konduktivitas listrik dengan TDS dan diketahui keduanya memiliki hubungan yang kompleks yang tergantung pada komposisi kimia dan kekuatan ion dalam larutan tersebut. Hayashi (2003) menyatakan bahwa pengukuran konduktivitas listrik jauh lebih cepat dan tidak mahal, oleh karena itu pengukuran zat padat terlarut dengan konduktivitas listrik lebih menguntungkan daripada pengukuran TDS secara langsung untuk analisis kimia.

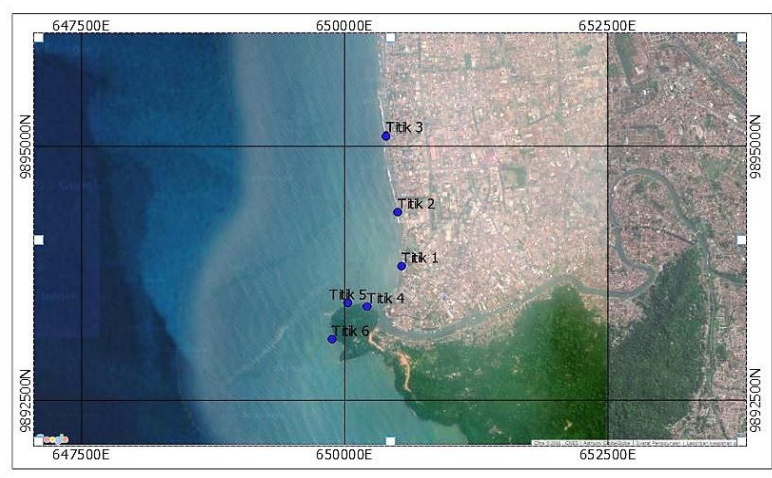
Dari beberapa penelitian lain diketahui bahwa nilai konduktivitas listrik larutan juga dipengaruhi oleh temperatur dan pH. Hayashi (2003) yang melakukan penelitian pada beberapa jenis air yang memiliki komposisi dan salinitas yang berbeda. Dari penelitian ini didapatkan hubungan konduktivitas listrik dengan temperatur yang sedikit nonlinier pada suhu berkisar $0-30\ ^\circ\text{C}$, tetapi persamaan linier masih dapat mendekati dengan cukup baik. Hasil penelitian Ezeweali, dkk (2014) yang dilakukan di daerah Boji-Boji Agbor menunjukkan bahwa temperatur memiliki hubungan dengan konduktivitas listrik dan TDS. Konduktivitas listrik memiliki korelasi positif dengan TDS dan temperatur. Disamping itu, peningkatan temperatur air akan menurunkan kepadatan dari gas seperti O_2 , CO_2 , N_2 , dan CH_4 di dalam larutan.

Untuk mengetahui bagaimana hubungan TDS terhadap konduktivitas listrik, dan pengaruh temperatur terhadap konduktivitas listrik dan bagaimana pH dari beberapa jenis air, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan sampel pada tiga lokasi yang berbeda yaitu di Pantai Padang, Sungai Batang Arau dan Danau Diatas. Lokasi tersebut mempunyai jenis air dan pencemaran yang berbeda dan diperkirakan mempunyai karakteristik hubungan antara TDS dan konduktivitas listrik yang berbeda juga. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran TDS dengan metode *gravimetry*. Pengukuran konduktivitas listrik pada sampel menggunakan *conductivity meter*. Untuk melihat bagaimana pengaruh temperatur terhadap konduktivitas listrik, dilakukan pengukuran konduktivitas listrik

terhadap sampel yang dipanaskan hingga mencapai suhu 60°C kemudian setiap kenaikan 10°C diukur konduktivitas listriknya.

II. METODE

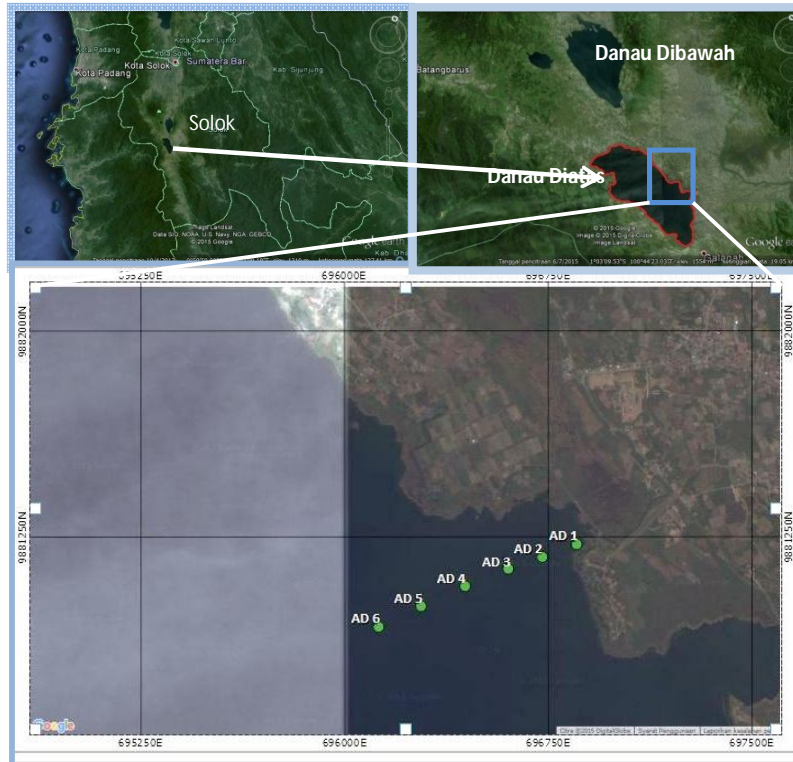
Lokasi yang menjadi tempat pengambilan sampel ada tiga yaitu sampel air laut bertempat di Pantai Padang, air sungai bertempat di Sungai Batang Arau dan air danau bertempat di Danau Diatas. Pada masing-masing lokasi, sampel diambil pada enam titik dengan jarak antar titik 500 m. Sampel air laut diambil pada dua lokasi yang berbeda yaitu tiga titik di lokasi dekat objek wisata dan tiga titik di lokasi hutan tepi pantai seperti Gambar 1. Sampel air sungai diambil pada 6 titik, masing-masing dua titik pada bagian hulu, tengah dan hilir sungai. Titik-titik pengambilan sampel air sungai ditunjukkan pada Gambar 2. Sampel air danau dimulai dari pusat lahan perikanan pinggir danau menuju tengah danau sebanyak 6 titik sampel. Titik-titik lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 1 Lokasi pengambilan sampel di Pantai Padang



Gambar 2 Lokasi pengambilan sampel di Sungai Batang Arau



Gambar 3 Lokasi pengambilan sampel di Danau Diatas

2.1 Pengukuran *Total Dissolved Solid* (TDS)

Pengukuran TDS dilakukan dengan metode *gravimetry* yang melibatkan penguapan zat terlarut dengan langkah-langkah sebagai berikut; gelas beaker dibersihkan dan dipanaskan pada suhu 105 °C selama 1 jam di dalam oven, kemudian didinginkan dan ditimbang dengan menggunakan timbangan *moisture* MLB-C hingga didapatkan massa gelas beaker kosong (B). Sampel diaduk hingga homogen dan kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring whatmann no. 41 sebanyak 25 ml. Sampel yang telah disaring dipanaskan menggunakan *hot plate* dengan suhu 250 °C selama 1 jam hingga gelas beaker kering. Gelas beaker yang telah kering yang berisi residu dipanaskan lagi dengan oven pada suhu 105 °C selama 1 jam agar tidak ada sisa larutan pada dinding gelas beaker. Gelas beaker yang telah dipanaskan ditimbang dengan timbangan digital dan didapatkan massa gelas beaker tambah residu (A). Kemudian nilai TDS dapat ditentukan dengan Persamaan 1.

$$TDS = \frac{A - B}{V} \times 1000 \quad (1)$$

2.2 Pengukuran Konduktivitas Listrik pada Suhu Kamar

Pengukuran konduktivitas listrik dilakukan dengan menggunakan *conductivity meter* dengan membersihkan elektrodanya terlebih dahulu dengan menggunakan aquades. Setelah dibersihkan elektroda dicelupkan ke dalam sampel dan dicatat nilai konduktivitas listriknya untuk setiap sampel.

2.3 Pengukuran Konduktivitas Listrik dengan Variasi Temperatur

Pengukuran konduktivitas listrik dilakukan dengan memanaskan sampel mulai temperatur ruang hingga suhu 60 °C. Elektroda pada *conductivity meter* dicelupkan ke dalam sampel yang telah dipanaskan dan dicatat nilai konduktivitas listriknya setiap kenaikan 10 °C mulai dari 30 °C sampai 60 °C.

2.4 Pengukuran pH dan Temperatur

Pengukuran pH dan temperatur langsung dilakukan di lokasi pengambilan sampel dengan menggunakan pH meter AD11 dan termometer digital TES 1306A *digital humidity temperature meter*.

III. HASIL DAN DISKUSI

Nilai konduktivitas listrik, TDS, pH dan temperatur untuk ketiga lokasi dapat dilihat pada Tabel 1.

3.1 Nilai *Total Dissolved Solid* (TDS)

TDS pada sampel air laut paling tinggi berkisar antara 20000 mg/l hingga 27000 mg/l dengan rata-rata 23886,7 mg/l. Nilai TDS sampel air sungai berkisar 500 mg/l hingga 5000 mg/l dengan rata-rata 1873,3 mg/l. Nilai TDS sampel air danau berkisar antara 200 mg/l hingga 1040 mg/l dengan rata-rata 546,7 mg/l. Tingginya nilai TDS pada air laut ini karena kandungan garam yang menyebabkan banyaknya padatan terlarutnya. Padatan terlarut pada air sungai lebih tinggi daripada air danau karena banyaknya aktifitas masyarakat dan aktifitas perindustrian, sedangkan padatan terlarut pada air danau berasal dari sisa aktifitas perikanan dan sisa metabolisme ikan pada lahan perikanan.

Tabel 1 Nilai konduktivitas listrik, TDS, pH dan temperatur sampel air di tiga lokasi penelitian

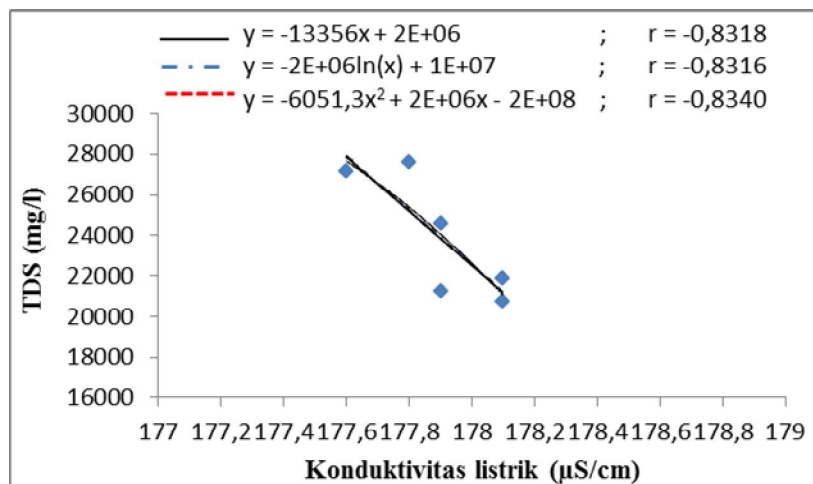
Lokasi	Sampel	Konduktivitas Listrik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	pH	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
Pantai	AL1	178,1	20720	9,0	31,0
	AL2	178,1	21880	8,5	31,6
	AL3	177,8	27640	8,3	31,9
	AL4	177,6	27200	8,0	31,0
	AL5	177,9	21280	8,1	29,5
	AL6	177,9	24600	8,2	32,0
	Rata-rata	177,9	23886,7	8,4	31,2
Sungai	AS1	175,9	5000	8,7	30,3
	AS2	175,4	3240	8,4	31,0
	AS3	138,7	1280	7,7	28,7
	AS4	138,9	640	7,8	30,0
	AS5	110,3	560	7,9	25,9
	AS6	95,5	520	7,9	26,8
	Rata-rata	139,1	1873,3	8,1	28,8
Danau	AD1	100,3	1040	8,4	23,4
	AD2	80,1	800	8,3	23,8
	AD3	78,4	520	7,4	23,4
	AD4	75,7	360	7,0	23,7
	AD5	75,2	320	7,0	23,0
	AD6	74,1	240	6,9	23,5
	Rata-rata	80,6	546,7	7,5	23,5

3.2 Nilai Konduktivitas Listrik

Nilai konduktivitas listrik dari ketiga jenis air dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai konduktivitas listrik di lokasi Pantai Padang berkisar antara 177,6 $\mu\text{S/cm}$ hingga 178,1 $\mu\text{S/cm}$ dengan rata-rata 177,9 $\mu\text{S/cm}$. Nilai konduktivitas listrik pada Sungai batang Arau berkisar antara 95,5 $\mu\text{S/cm}$ hingga 175,9 $\mu\text{S/cm}$ dengan rata-rata 139,1 $\mu\text{S/cm}$. Nilai konduktivitas listrik pada air Danau Diatas lebih rendah berkisar antara 74,1 $\mu\text{S/cm}$ hingga 100,3 $\mu\text{S/cm}$ dengan rata-rata 80,6 $\mu\text{S/cm}$. Air laut memiliki nilai konduktivitas listrik yang lebih tinggi karena kandungan garam terlarut yang tinggi sehingga mengandung lebih banyak ion di dalam air laut yang membuat tingginya nilai konduktivitas listrik pada air laut.

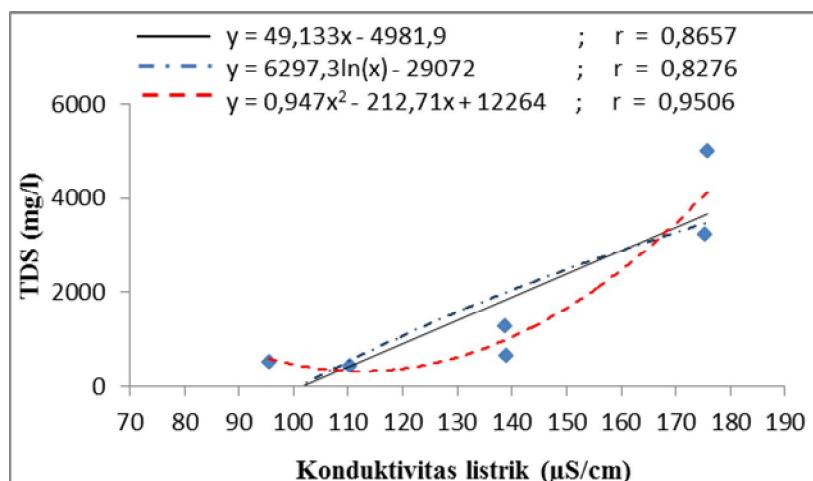
3.3 Hubungan TDS dengan Konduktivitas Listrik

Hubungan TDS dengan konduktivitas listrik pada ketiga jenis air dapat dilihat pada Gambar 4 sampai Gambar 6. Gambar 4 menunjukkan hubungan TDS dengan konduktivitas listrik pada air laut. Dari Gambar 4 hubungan antara TDS dengan konduktivitas listrik kurang terlihat jelas. Perubahan nilai konduktivitas listrik yang diperoleh cukup kecil, sedangkan nilai TDSnya berosilasi.



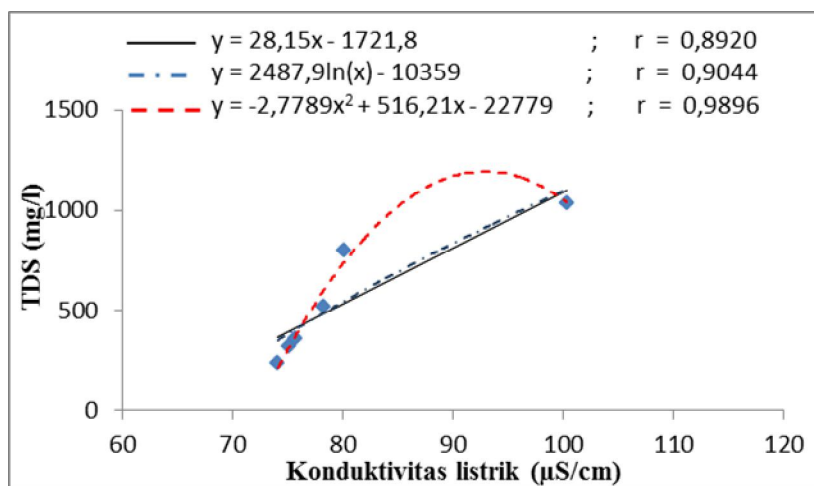
Gambar 4 Hubungan TDS dengan konduktivitas listrik sampel air laut

Gambar 5 menunjukkan hubungan TDS dengan konduktivitas listrik pada air sungai. Pada Gambar 5 terlihat bahwa nilai TDS naik terhadap kenaikan nilai konduktivitas listrik. Terdapat hubungan yang linier pada nilai konduktivitas listrik yang kecil dan mulai tidak linier pada nilai konduktivitas listrik yang besar. Gambar 5 juga menampilkan beberapa model hubungan TDS dengan konduktivitas listrik. Dari ketiga model tersebut, model polinomial orde-2 yang baik karena nilai koefisien korelasinya paling tinggi yaitu $r = 0,9506$.



Gambar 5 Hubungan TDS dengan konduktivitas listrik sampel air sungai

Gambar 6 menunjukkan hubungan TDS dengan konduktivitas listrik pada air danau. Sama halnya dengan air sungai, TDS pada air danau meningkat dengan peningkatan nilai konduktivitas listrik. Hubungan TDS dengan konduktivitas listrik linier pada rentang 70-80 $\mu\text{S/cm}$, sedangkan untuk nilai konduktivitas listrik yang lebih besar, hubungannya mulai tidak linier. Gambar 6 juga menampilkan tiga model hubungan TDS dengan konduktivitas listrik untuk air danau. Model yang terbaik adalah model polinomial orde-2 dengan koefisien korelasi $r = 0,9896$.

**Gambar 6** Hubungan TDS dengan konduktivitas listrik pada air danau

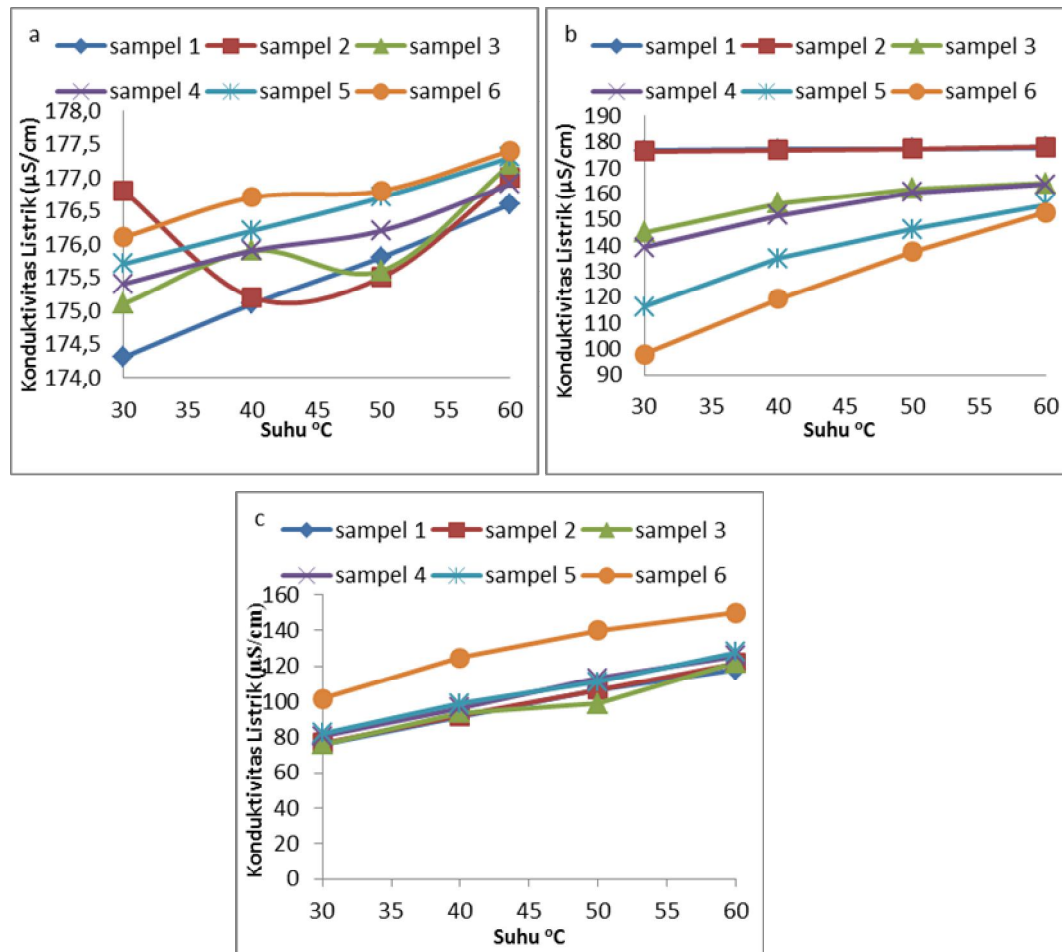
3.4 Derajat Keasaman (pH) dan Temperatur

pH sampel air laut yang didapatkan untuk lokasi Pantai Padang berkisar 8,2 hingga 9,0 dengan nilai rata-rata pada lokasi ini adalah 8,4. pH air Sungai Batang Arau berkisar antara 7,8 hingga 8,7 dengan nilai rata-rata sebesar 8,1. pH air Danau Diatas berkisar antara 6,9 hingga 8,4 dengan rata-rata sebesar 7,5. Berdasarkan KEP.02/MENKLH/1/1998 tentang baku Mutu Air Laut sebagai Pariwisata batas maksimum pH yang diperbolehkan adalah 6,5 hingga 8,5. Menurut PP RI No. 82 Tahun 2001 tentang Baku Mutu Air Sungai bahwa batas maksimum pH air sungai yang diperbolehkan sebagai sumber air bersih adalah 6,0-9,0. Dari standar baku mutu tersebut, nilai rata-rata ketiga jenis masih dalam rentang baku mutu yang diperbolehkan.

Temperatur untuk sampel air laut berkisar antara 29 °C hingga 32 °C dengan rata-rata temperatur 31,2 °C. Temperatur untuk sampel air sungai berkisar antara 26 °C hingga 31 °C dengan rata-rata yang diperoleh sebesar 28,8 °C. Temperatur untuk sampel air danau berkisar 23,0 °C hingga 23,8 °C dengan rata-rata yang diperoleh 23,5 °C. Nilai rata-rata temperatur pada air laut melebihi batas yang ditentukan dari kegunaan air laut sebagai rekreasi yaitu 26-30 °C (KEPMENLH, 2004). Sedangkan rata-rata temperatur yang didapatkan pada air sungai dan air danau menunjukkan nilai yang masih berada dalam rentang temperatur yang diperbolehkan untuk air bersih yaitu sebesar 25 ± 3 °C.

3.5 Hubungan Konduktivitas Listrik dengan Temperatur

Hubungan konduktivitas listrik dengan temperatur dapat dilihat pada Gambar 7. Secara keseluruhan, hubungan konduktivitas listrik dengan temperatur relatif linier naik, dimana peningkatan temperatur hingga mencapai suhu 60 °C juga meningkatkan nilai konduktivitas listriknya. Pada Gambar 7a terlihat hubungan konduktivitas listrik dengan temperatur secara umum linier kecuali pada sampel 2 dan 3. Pada Gambar 7b dan 7c merupakan hubungan konduktivitas listrik dengan temperatur pada air sungai dan air danau. Pada Gambar 7 terlihat hubungan yang linier antara temperatur dengan konduktivitas listrik. Semakin tinggi temperatur, nilai konduktivitas listrik juga semakin tinggi. Apabila temperatur semakin tinggi, maka ion-ion bergerak semakin cepat dan nilai konduktivitas listrik juga akan semakin tinggi.



Gambar 7 Hubungan konduktivitas listrik dengan temperatur a) air laut, b) air sungai, c) air danau.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan hubungan konduktivitas listrik dengan TDS dan hubungan konduktivitas listrik dengan temperatur pada ketiga jenis air. Nilai rata-rata total padatan terlarut pada ketiga jenis air cukup tinggi yaitu 23886,7 mg/l untuk air laut, 1873,3mg/l untuk air sungai dan 546,7 mg/l untuk air danau. Nilai ini masih di dalam batas yang ditentukan dalam kegunaannya masing-masing. Nilai rata-rata konduktivitas listrik pada suhu kamar dari ketiga jenis air yaitu 177,9 $\mu\text{S/cm}$ untuk air laut, 139,1 $\mu\text{S/cm}$ untuk air sungai dan 80,6 $\mu\text{S/cm}$ untuk air danau. Nilai konduktivitas listrik dari ketiga jenis air ini masih di dalam batas yang ditentukan berdasarkan kegunaannya. Nilai rata-rata total pH pada ketiga sampel air yaitu 8,4 untuk air laut, 8,1 untuk air sungai dan 7,5 untuk air danau. pH pada ketiga jenis air masih berada dalam batas normal yang ditentukan. Nilai rata-rata temperatur pada air laut 31,2 °C telah melebihi batas yang diperbolehkan untuk air laut tempat wisata yaitu 26 – 30 °C. Pada air sungai dan air danau masih di batas normal temperatur perairan yang digunakan untuk air bersih yaitu 25 ± 3 °C.

Hubungan TDS dengan konduktivitas listrik air sungai linier pada konduktivitas listrik yang kecil dan mulai tidak linier pada nilai konduktivitas listrik tinggi. Model terbaik hubungan antara TDS dan konduktivitas listrik air sungai adalah model polinomial orde-2 dengan koefisien korelasi $r = 0,9506$. Begitu pula dengan air danau, hubungan TDS dengan konduktivitas listrik linier pada rentang konduktivitas listrik 70-80 $\mu\text{S/cm}$ dan tidak linier untuk konduktivitas listrik tinggi. Model terbaik yang menghubungkan antara TDS dengan konduktivitas listrik air danau adalah model polinomial orde-2 yaitu dengan koefisien korelasi $r = 0,9896$. Secara umum, konduktivitas listrik naik dengan kenaikan temperatur dengan hubungan yang cenderung linier untuk ketiga jenis sampel air.

DAFTAR PUSTAKA

- Chang, C., Sommerfeldt T.G., Carefoot J.M dan Schaalje G.B., Research Station, Agriculture Canada, Lethbridge **63**, halaman 79-86 (1982)
- Das, R., Ranjan N.S., Kumar P.R., dan Mitra D., Asian Journal of Water, Environment and Pollution **3**, halaman 143-146 (2005)
- Djuhariningrum T., Pusat Pengembangan Geologi Nuklir-Batan, Jakarta (2005)
- Effendi, H., Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan (Penerbit Kanisius. Yogyakarta, 2003) hal 75-76
- Ezeweali, D., Oyem, H.H. dan Oyem, I.M., Research Journal of Environmental Science **8**, halaman 444-450 (2014)
- Hayashi, M., Environmental Monitoring and Assessment **96**, halaman 119-128 (2003)
- Herlambang, A., Pencemaran Air dan Strategi Penanggulangannya, *JAI*, Volume 2, Nomor 1, Peneliti Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT, halaman 16-28 (2006)
- Parkin, G. F., Mccarty, P. L., Sawyer, C. N., *Chemistry For Environmental Engineering and Science*, Fifth Edition (The McGraw-Hill Companies, New York, America, 2003) hal 245-247
- Paul, M.K. dan Sen, S., Current World Environment **7**, halaman 251-258 (2012)